

# WG11 活動報告

## (Yield Enhancement)

デバイス・プロセスの多様化に求められる  
欠陥・汚染の計測・管理の効率化

嵯峨幸一郎(ソニー)

# 報告内容

- ・ 委員リスト
  - ・ 歩留りに影響する欠陥
- (1) ウェハ環境汚染(WECC)
- ・ 純水やウェハ保管環境からの汚染の管理の重要性と調査結果、ITRS tableへの反映
- 純水の管理ポイント定義の変更に向けた取り組み
- (2) 欠陥検出・分類・分析(CIA)
- ・ 各社歩留課題アンケートまとめ
  - ・ ヒアリング
- ベベル、エッジの汚染分析の最新動向
- 欠陥検査技術の最近の動向(システムティック欠陥の検出)

13年9月で退任

現リーダー

現サブリーダー

13年9月で退任

13年9月で退任

白水好美	ルネサス	リーダー・WECC
嵯峨幸一郎	ソニー	サブリーダー・YE国際・WECC
富田 寛	東芝	委員 WECC
玉置真希子	東芝	委員 WECC
永石 博	ルネサス	委員 CIA
藺部悠介	ローム	委員 WECC
槌谷孝裕	富士通セミコンダクタ	委員 CIA
桑原純夫	STARC	委員 コンソーシアムCIA
水野文夫	明星大学	特委_アカデミア・CIA WECC
西萩一夫	堀場製作所	特委_ WECC
達本剛隆	レーザーテック	特委_SEAJ計測専門委員会 CIA
近藤 郁	リオン	特委_SEAJ計測専門委員会 WECC
池野昌彦	日立ハイテク	特委_サプライヤ CIA
北見勝信	栗田工業	特委_サプライヤ・WECC
二ツ木高志	オルガノ	特委_サプライヤ・WECC・幹事
杉山 勇	野村マイクロ	特委_サプライヤ・WECC・
斎藤美佐子	東京エレクトロン	特委_サプライヤ・WECC・

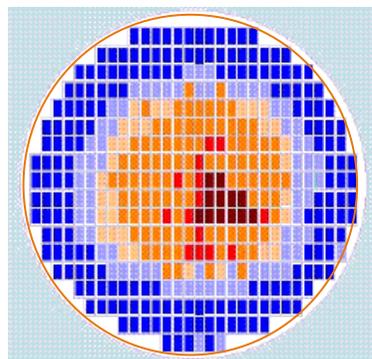
WECC; ウェハ環境汚染サブWG  
CIA: 欠陥検出

$$\text{歩留 } Y = Y_{\text{systemtic}} * Y_{\text{random}}$$

各社の各デバイスに  
固有であることが多い

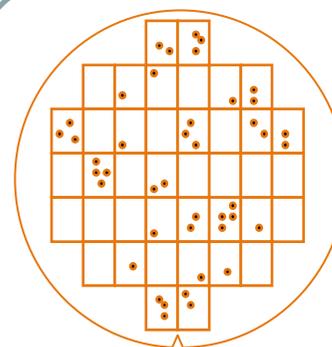
ITRSでは主にランダム欠陥に関して活動

ウェハ面内  
不良分布



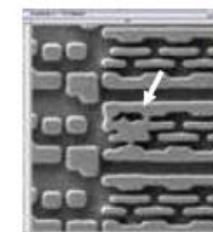
原因の例

- ・膜厚変動
- ・線幅変動
- ・不純物濃度変動

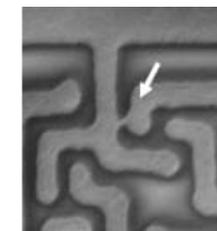


原因の例

- ・パターン欠陥
- ・配線short/open

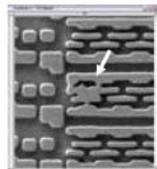


(例) パターン崩れ

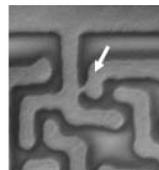


(例) 配線Short 欠陥

$Y_{\text{random}}$



(例) パターン崩れ



(例) 配線Short 欠陥

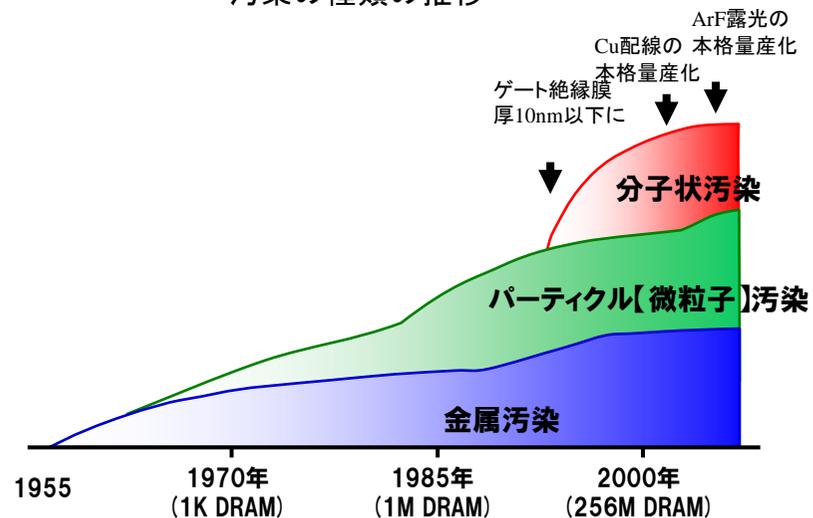
$$Y = \exp(-A * D)$$

A : area(cm<sup>2</sup>)  
D : defect density (/cm<sup>2</sup>)

歩留りモデルによる工程許容欠陥算出

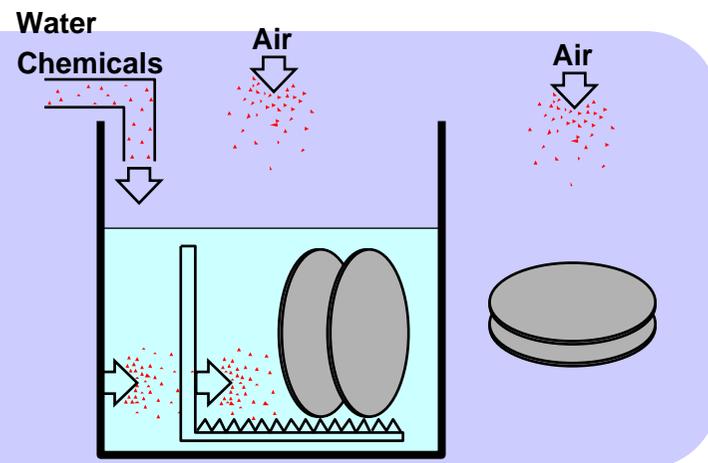
近年、各社デバイスの多様化、システム欠陥や見えない欠陥の影響増加により歩留りモデルと工程許容欠陥の議論は停止

半導体製造において管理対象とすべき汚染の種類の変遷

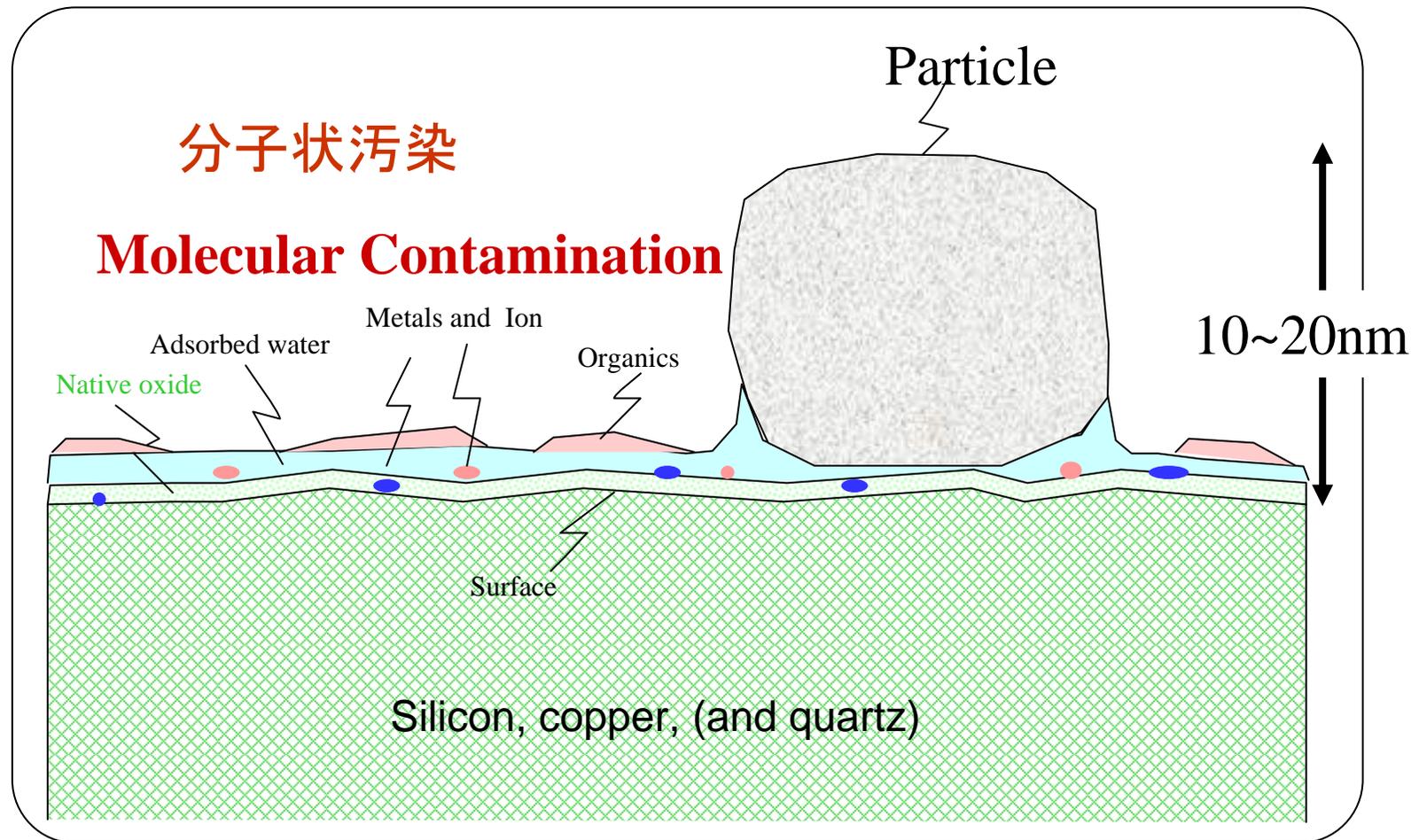


WECC (Wafer Environment Contamination Control)

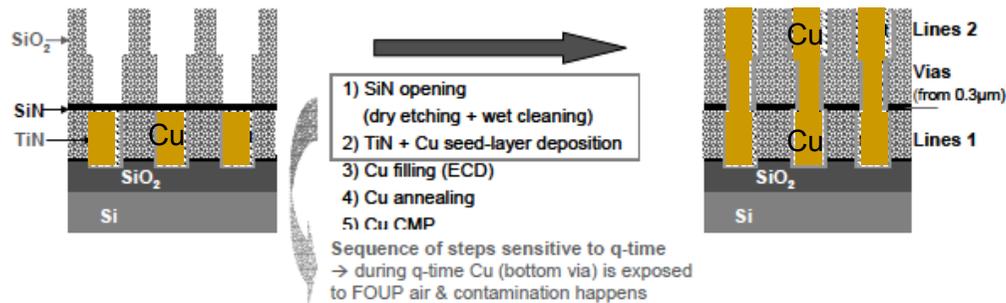
金属汚染、分子状汚染などの見えない欠陥となる汚染の影響が顕在化してきたため、その管理値が議論されるようになった。



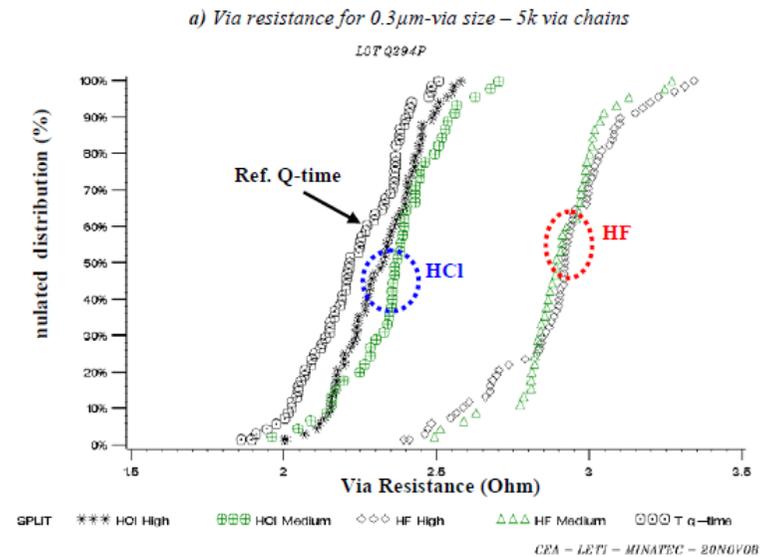
# (1) ウェハ環境汚染(WECC)



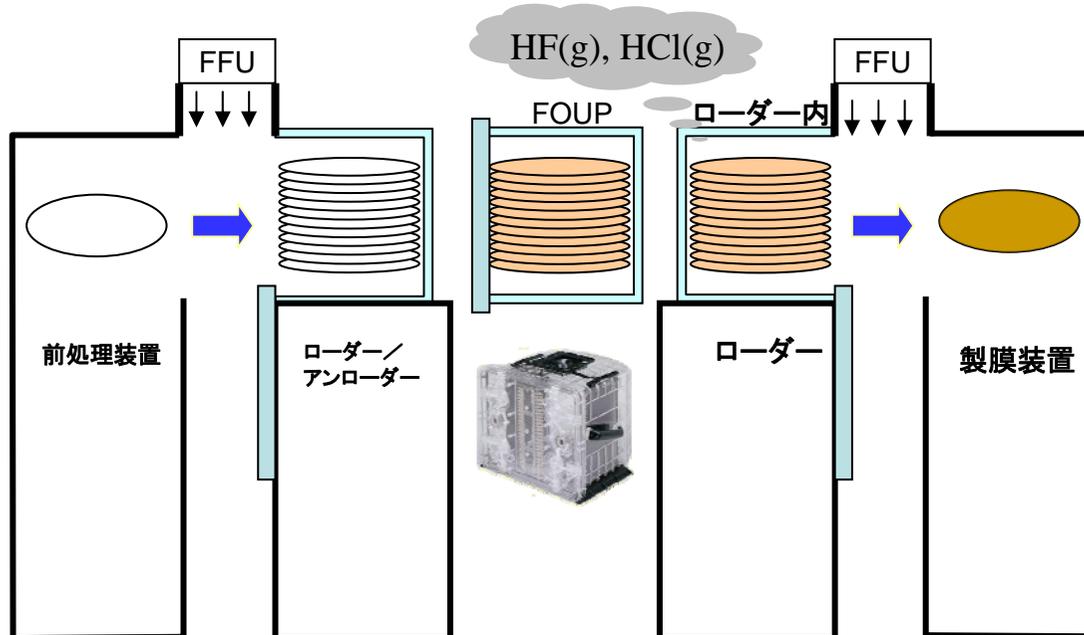
# 配線工程



## Impact of the Volatile Acid Contaminants on Copper Interconnects Electrical Performances (LETI@ECS)



前処理装置～製膜装置へのウェハ搬送フロー



搬送・保管中の  
 HF, HClガスによる  
 配線Via抵抗の上昇



ITRS tableに  
 FOUP内酸性ガス濃度の規定

ITRSとしては、近年、このような議論、整理が活発に行われている。

2014年抜粋 (ITRS 2012版)	装置/FOUP内 (ppt)	
	Cu	Al
無機酸 Total Inorganic Acids	500	TBD
HCl	200	100
HF	5000	200
HBr	TBD	TBD
HNOx	TBD	TBD
有機酸 Total Organic Acids	100	TBD
塩基 Bases	TBD	設定なし
腐食性物質	TBD	1000
H <sub>2</sub> S	TBD	設定なし
全イオウ	5000	設定なし

# ITRSとしては、近年このような議論、整理が活発に行われている。

Figure xxx???: Potential Solutions: Wafer FOUP contamination measurement and control

	First Year of IC Production (e.g. DRAM 1/2 Pitch)	SUBSTRATE		SUBSTRATE LOCATION			2011 40nm	2012 36nm	2013 32nm	2014 28nm	2015 25nm	2016 22.5nm	2017 20nm	2018 17.9nm	2019 15.9nm
		Apply to WAFER	Apply to RETICLE	Apply to STORAGE	Apply to PROCESS	Apply to TRANSPORT									
<b>Cross contamination on wafer inside FOUP (e.g acids after dry etch, oxygen or humidity before epi)</b>	Online AMC measurement inside FOUP in fab	Yes	No	Yes	No	Yes									
	Integrated AMC measurement inside load port	Yes	No	No	Yes	No									
	Vacuum purge : outgass the FOUP w ith w afers under vacuum and fill it w ith N2	Yes	No	Yes	No	Yes									
	N2 purge station : injection of N2 inside FOUP w ith w afer	Yes	No	Yes	No	Yes									
	N2 purge station integrated in stocker : injection of N2 inside FOUP w ith w afers	Yes	No	Yes	No	No									
	FOUP change : transfer the w afers in a clean FOUP during q-time	Yes	No	Yes	No	Yes									
	Purgeable load port : injection of N2 w hen the FOUP is connected to the EFEM	Yes	No	No	Yes	No									
	Outgassing chamber integrated in process equipement	Yes	No	No	Yes	No									

This legend indicates the time during which research, development, and qualification/pre-production should be taking place for the solution.

Research Required

Development Underway

Qualification / Pre-Production

Continuous Improvement

introduction of 450 , new requirements ?  
to be checked

Work-in-Progress--Do Not Publish



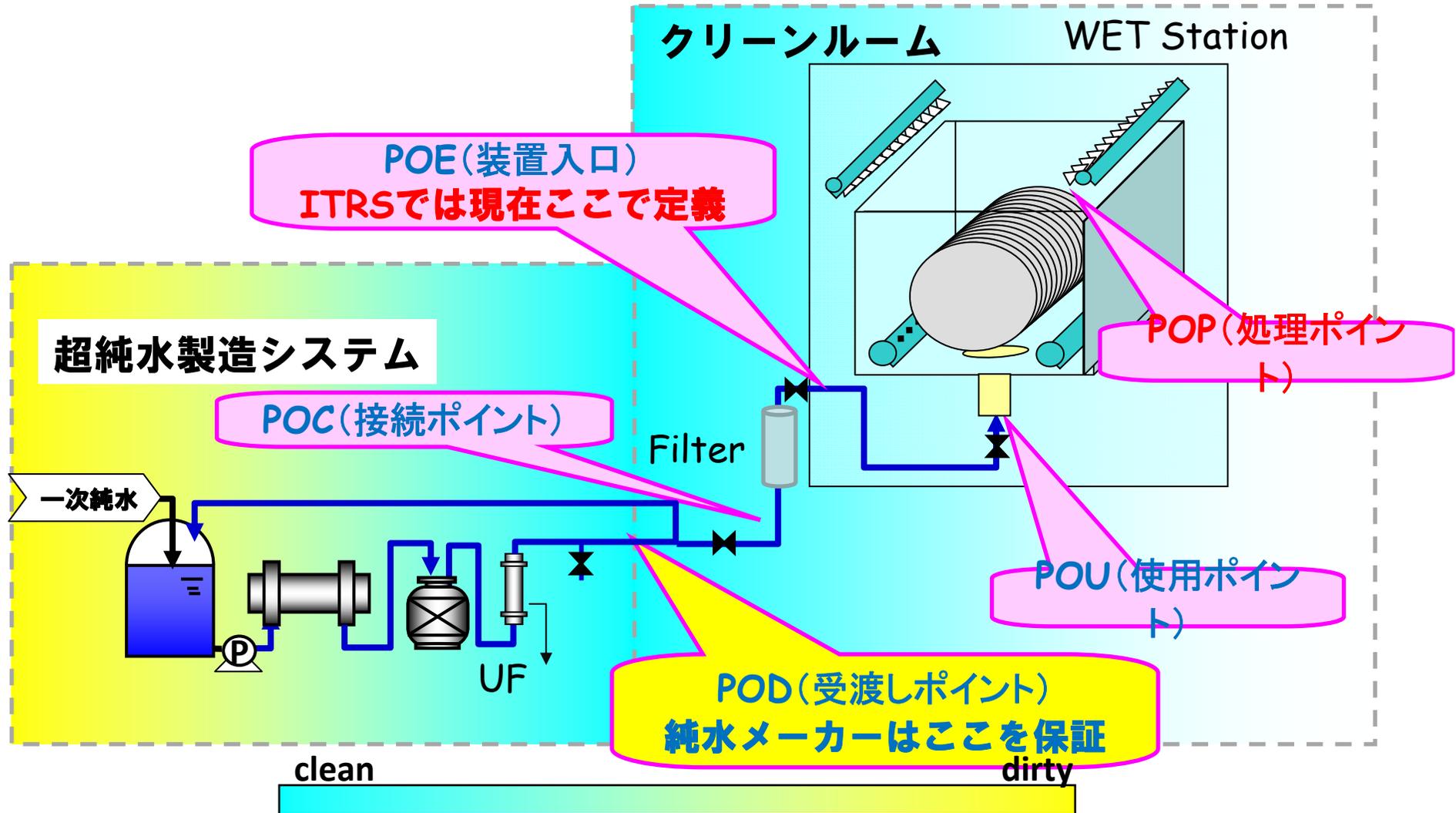
# 純水中のパーティクル他の汚染濃度規定

Table YE3 Technology Requirements for Wafer Environmental Contamination Control--Updated

Year of Production	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Flash ½ Pitch (nm) (un-contacted Poly)(f)	28	25	23	20	18	15.9	14.2	12.6	11.3	10.0
DRAM ½ Pitch (nm) (contacted)	40	36	32	28	25	22.5	20.0	17.9	15.9	14.2
MPU/ASIC Metal 1 (M1) ½ Pitch (nm)	38	32	27	24	21	18.9	16.9	15.0	13.4	11.9
MPU Printed Gate Length (nm) ††	35	31	28	25	22	19.8	17.7	15.7	14.0	12.5
MPU Physical Gate Length (nm)	24	22	20	18	17	15.3	14.0	12.8	11.7	10.7
Wafer Environment Control such as Cleanroom, SMIF POD, FOUP, etc....not necessarily the cleanroom itself but wafer environment.										
Critical particle size (nm) [1]	25	22.5	20	17.9	15.9	14.2	12.6	11.3	10	8.9
Ultrapure Water [29]	純水中									
Number of particles >critical particle size (see above) (#/L) [26]	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Dissolved oxygen (ppb) (contaminant based) [16] POE	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10

⇒今のままの定義で減らすべきか？

# UPW(超純水)汚染の例



ITRSはPOEで定義されているが、超純水サプライヤはPODを保証している。  
本来は、ウェハに超純水が接するポイント(POU, POP)を管理すべきではないか。

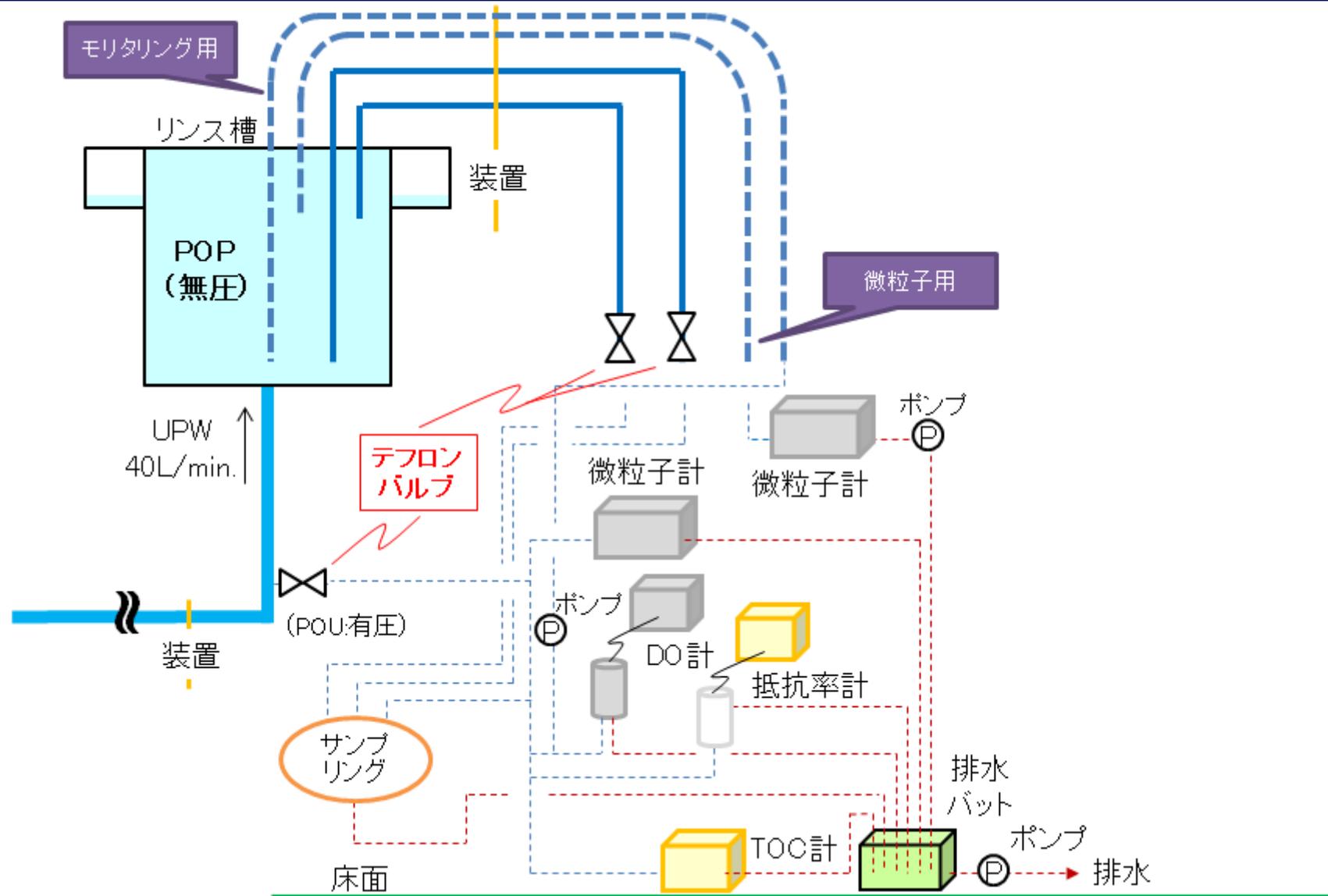
# POEからPOU, POPへ（純水中不純物）

本来はここで定義すべき

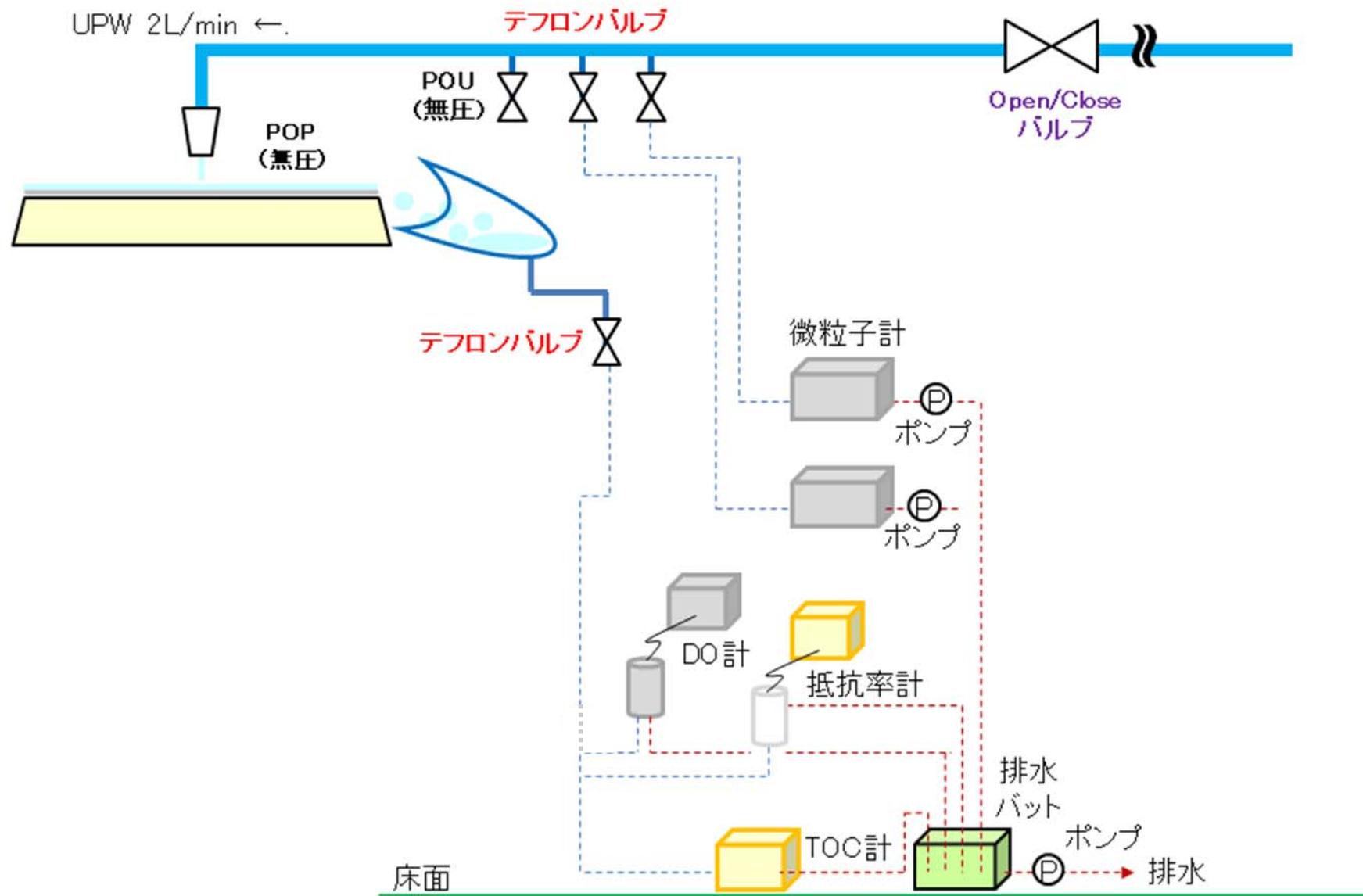
	POS 供給ポイント	POD 受渡ポイント	POC 接続ポイント	POE 入口ポイント	POU 使用ポイント	POP プロセスポイント
Interfaces	SEMI Standards Focus Area	ITRS Factory Integration Facilities Group Focus Area		ITRS Factory Integration Equipment Group	ITRS FEP, Litho, Interconnect TWG Focus Area	
純水	Raw water	Outlet of final filtration in UPW plant <b>SEMI UPW</b>	Outlet of submain take off valve	Inlet of wet bench or subequipment <b>ITRS</b>	Inlet of wet bench or connection point to piping, which is also used for other chemicals	Wafer in production
薬液	<b>SEMI Chem</b>	Outlet of final filtration of chemical distribution unit	Outlet of VMB valve	Inlet of wet bench or intermediate tank	Inlet of wet bench bath or spray nozzle	Wafer in production
特殊ガス	Gas cylinder or bulk	Outlet of final filtration of gas cabinet	Outlet of VMB valve	Inlet of equipment	Inlet of chamber (outlet of MFC)	Wafer in production
バルクガス	<b>SEMI Gas</b>	Outlet of final filtration/purification	Outlet of submain take off valve or VMB valve	Inlet of equipment/subequipment	Inlet of chamber (outlet of MFC)	Wafer in production
雰囲気	Outside Air	Outlet of make-up air handling unit	Outlet of filters in Cleanroom ceiling	Inlet to mini-environment or subequipment for AMC, outlet of the tool filter for particles <b>SEMI AMC</b>	Gas/Air in vicinity to wafer/Substrate <b>ITRS</b>	Wafer/Substrate in production (AMC/SMC)

ITRSにおいて、純水は装置入口で定義されているが、実際はその手前の供給のところの値が多数ある。受渡や入口で低減することが目的ではなく、プロセスポイントで問題になる欠陥や不良となる因子をPOUで低減化することが目的である。⇒議論中。

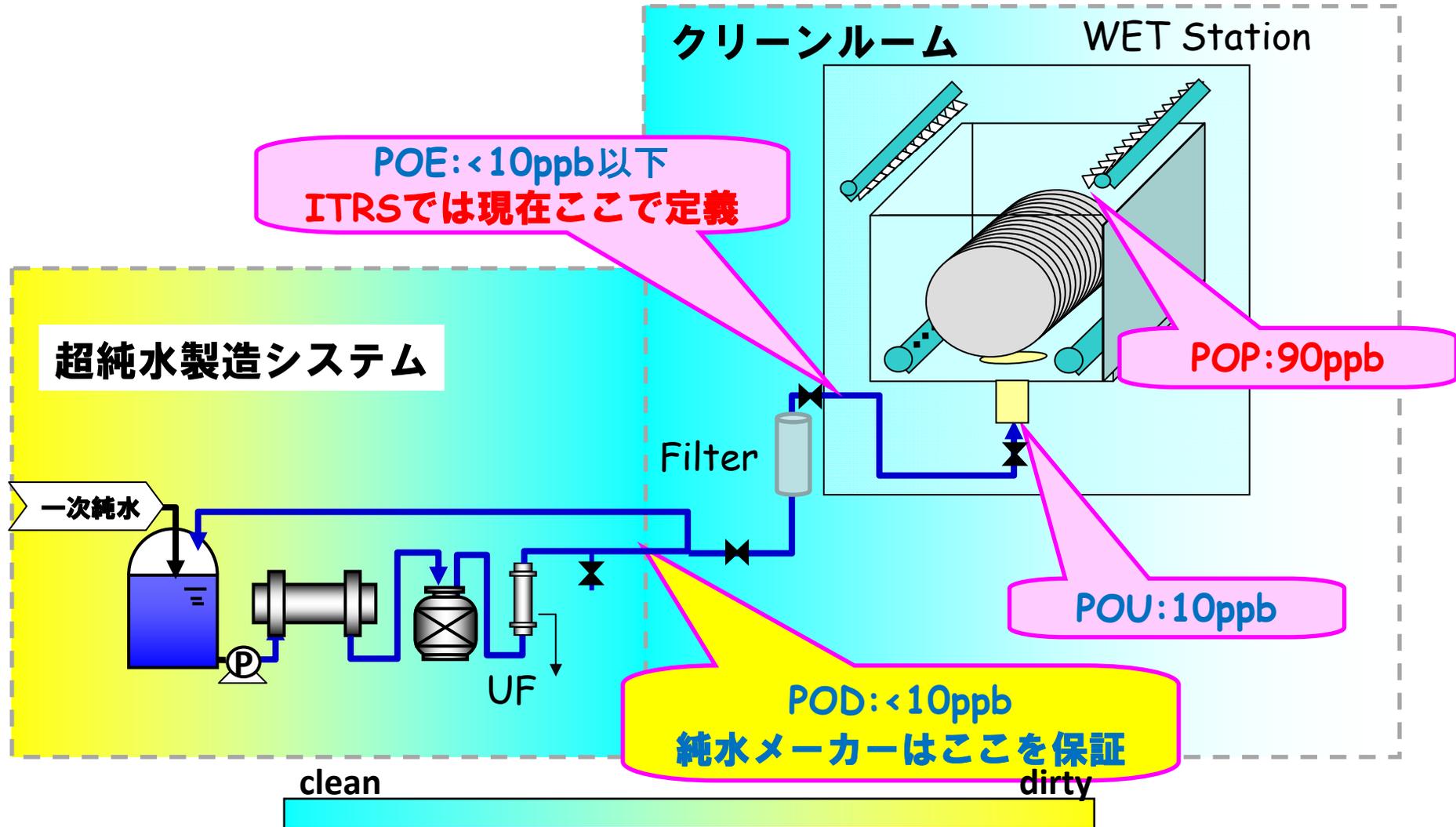
# SEMI Japan Liquid Chemical委員会Study Groupの協力のもとに 純水のPOU/POPの濃度を実際に測定を試みた。



# SEMI Japan Liquid Chemical委員会Study Groupの協力のもとに 純水のPOU/POPの濃度を実際に測定を試みた。

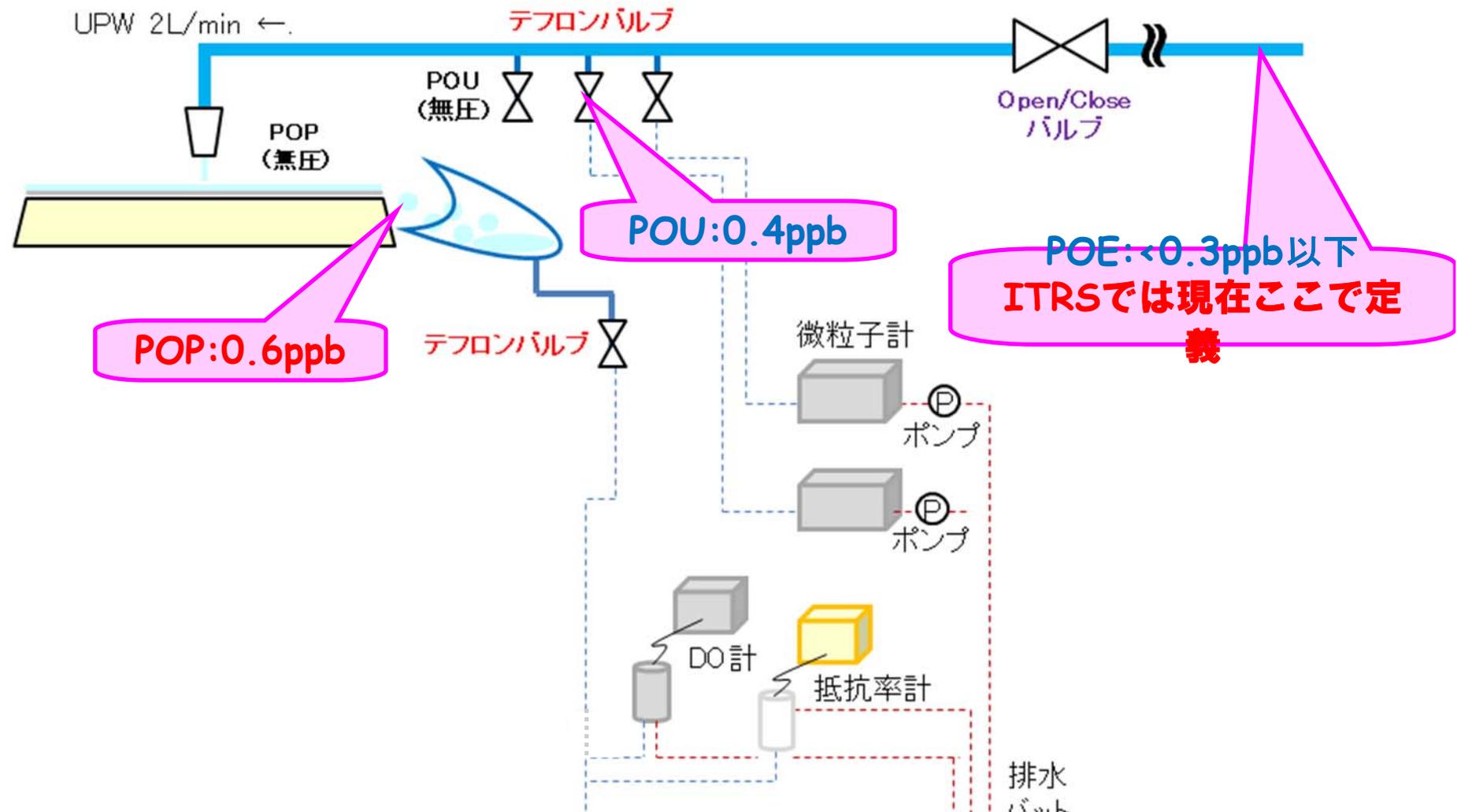


# UPW(超純水)溶存酸素の実測



パーティクル、シリカ、溶存酸素で、 $POE < POU < POP$ であることがわかった。  
特に、枚葉装置でその傾向が顕著であった。

# UPW(超純水)シリカの実測



パーティクル、シリカ、溶存酸素で、 $POE < POU < POP$ であることがわかった。特に、枚葉装置でその傾向が顕著であった。

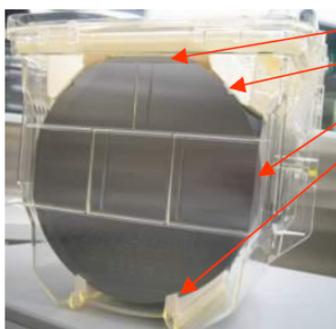
# 各社歩留り課題アンケート実施(CIA)



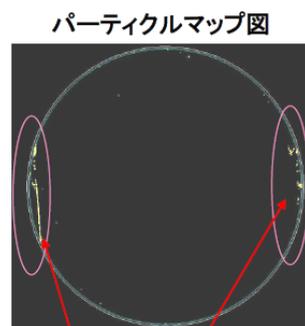
分類	課題
検査	<ul style="list-style-type: none"> <li>・微小異物の検出（表面、液中、材料中）</li> <li>・レジストプロセス（微小異物/残渣の検出、感度向上）</li> <li>・高アスペクト、NVDの検出</li> <li>・欠陥フィルタリング、分類精度（欠陥種、分布）の向上</li> <li>・全数検査</li> </ul>
検査、計測	<ul style="list-style-type: none"> <li>・形状ばらつき（STI, Gateなど）の管理</li> <li>・表面ラフネスの歩留り関連</li> <li>・Via品質のモニタ</li> </ul>
ベベル	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ベベル管理方法とデータフォーマットの統一</li> </ul>
汚染分析	<ul style="list-style-type: none"> <li>・製品影響度の定量化</li> <li>・金属汚染検出感度の高感度化</li> <li>・空気中有機物濃度のインラインモニタリング</li> <li>・局所汚染の検出（現状1cm<sup>2</sup>程度）</li> </ul>
早期発見	<ul style="list-style-type: none"> <li>・異常発生時の検出短時間化とその最適手法（FDC, VMなど含む）</li> </ul>
材料	<ul style="list-style-type: none"> <li>・結晶起因欠陥の検出感度向上</li> <li>・SiC/GaN対応検査技術の確立</li> </ul>
不良位置特定	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ロジック回路の不良位置特定困難</li> </ul>
コスト	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ROIの最適化（投資vs検査/測定頻度）</li> </ul>
YE体系	<ul style="list-style-type: none"> <li>・データ解析システム、歩留りモデル、DFMなどの体系再構築</li> </ul>

# ヒアリング(1) ベベル・エッジの汚染検出

近年、Fablite-Foundry間でのウェハ搬送が増加。  
ベベル、エッジの汚染のラインへの影響を確認する必要性が高まっている。



ウェハの外周部はカセットケースのスロットや蓋の押さえと接触する。  
(ウェハキャリアなど工程内でも汚染の転写は避けられない。  
ベベルから表面への汚染の移動で歩留まりにも影響)



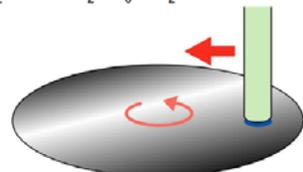
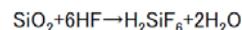
パーティクルマップ図

ウェーハが  
FOUPに接触部

リガク社資料より

## 通常のウェハ表面の重金属汚染分析

### 薬液回収



ICP-MS

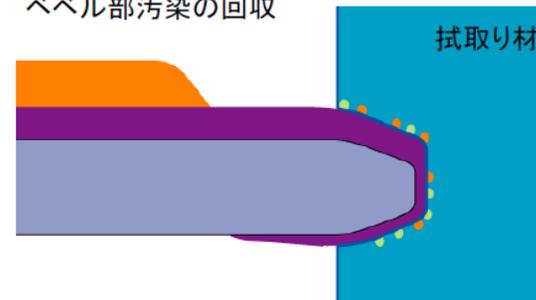
## 装置メーカー、分析サービス 会社からのヒアリング

## ベベル、エッジの重金属汚染分析

<従来法: 液滴による回収>



ベベル部汚染の回収

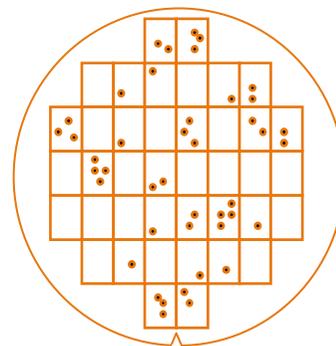


東芝ナノアナリシス社資料より

$$\text{歩留 } Y = Y_{\text{systemtic}} * Y_{\text{random}}$$

微細化の進行に伴いシステム欠陥の  
検出要求が増加している。

実はこの分布にシステム欠陥が  
隠れている？



欠陥検査、レビューに  
膨大な時間がかかる

メーカーヒアリングを行い、  
欠陥検査データからのシステム欠陥抽出と  
欠陥検査の効率化を議論  
(メーカーとしても感度向上は限界)

ITRS



**DDC (Defect Detection and Classification)**

**CIA: Contamination, Inspection and Analysis**

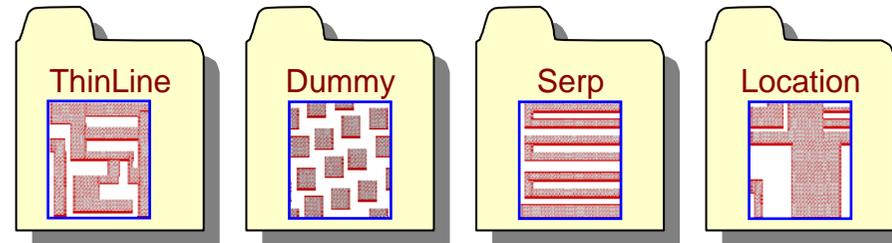
# 欠陥検出のテーブルの見直しの取り組み

現在の欠陥検出のテーブル（YE5-YE7）は、システムティック・ランダム欠陥双方を対象として設定されているが、微細化の進行により従来通りの欠陥検出手法ではシステムティック欠陥の効率的な検出は困難になってきている。  
システムティック欠陥の検出に絞った検出装置・システムも導入が進められておりそれらについてヒアリングを実施。

- ◆2008/11/27 KLA-テンコール社 Design Based Binning  
デザイン情報を使用した欠陥検出・分類
- ◆2013/07/05 NGR社 NGRシステム
- ◆2013/09/06 日立ハイテクノロジーズ社 SDC iPQ  
(Systematic Defect Classification. Inspection Process Qualifier)

# デザイン情報を使った欠陥検出・分類

— 新たなDFMパス ~ 設計(Hot Spot)情報を利用したシステムチック欠陥の抽出 —



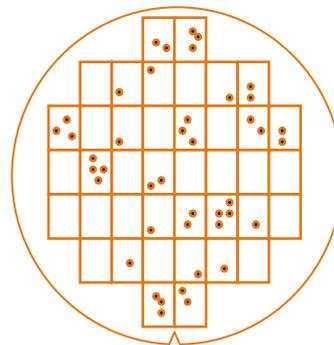
1. Identify hot spots based on:  
OPC, DRC, FA, etc.

2. Build a pattern library using design clips

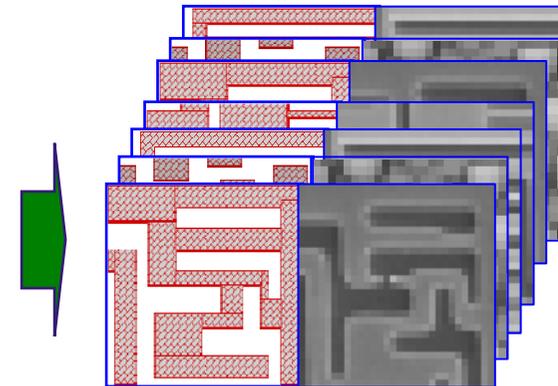
欠陥検出座標の背景設計データをあらかじめ登録しておいたパターンと照合し分類する。



3. Defect Inspection



4. Defect locations  
are identified



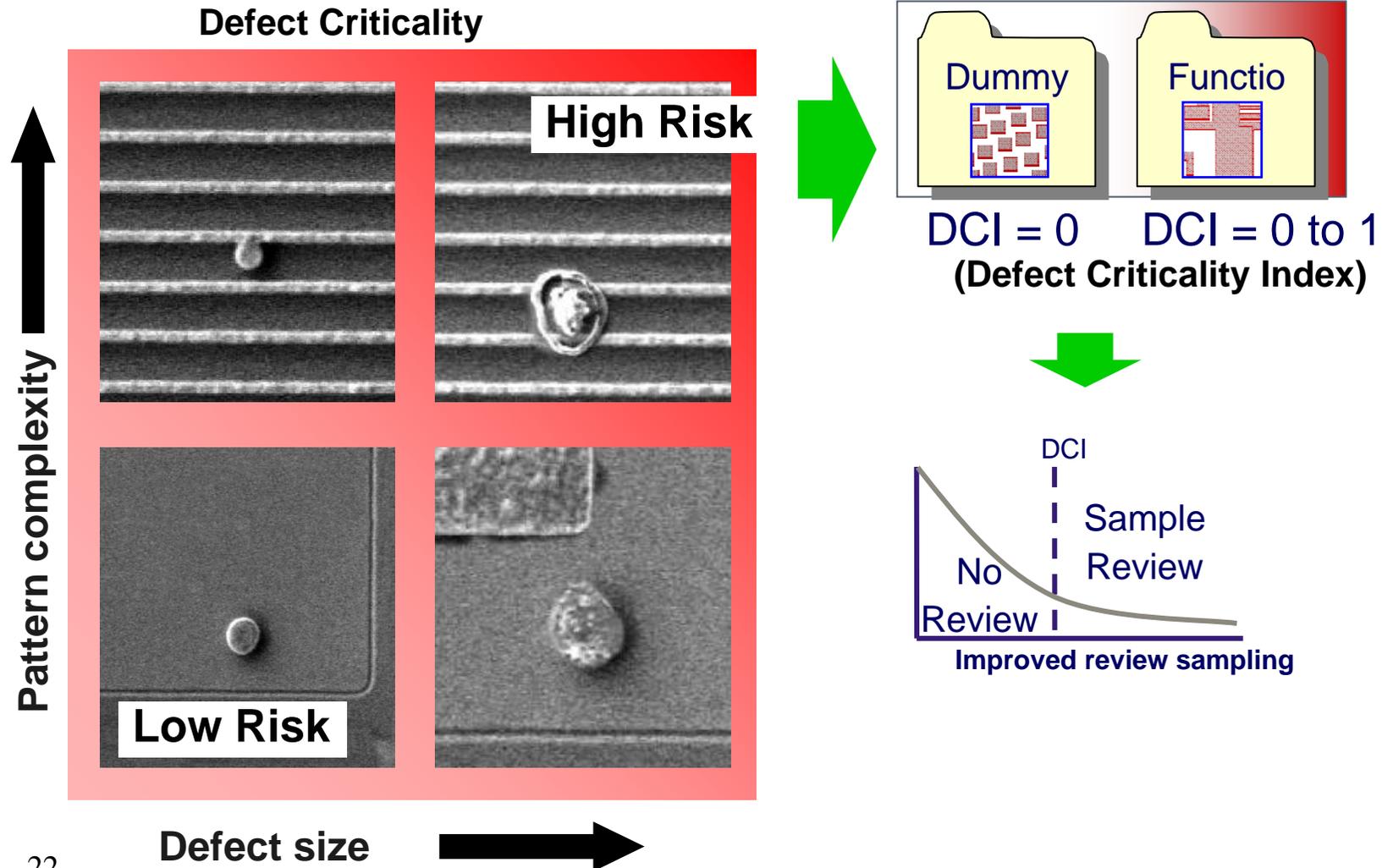
5. For every defect, design and  
optical images are extracted.

- 欠陥サイズや欠陥形状等の検査装置で取得した情報と合わせて分類することや
- ダミーパターンの検出(歩留への影響の無い欠陥)や
- 背景パターンの感知面積をオン・ザ・フライで計算することで、ランダム欠陥のキラー率を見積もる等の応用も考えられる。

# デザイン情報を使った欠陥検出・分類

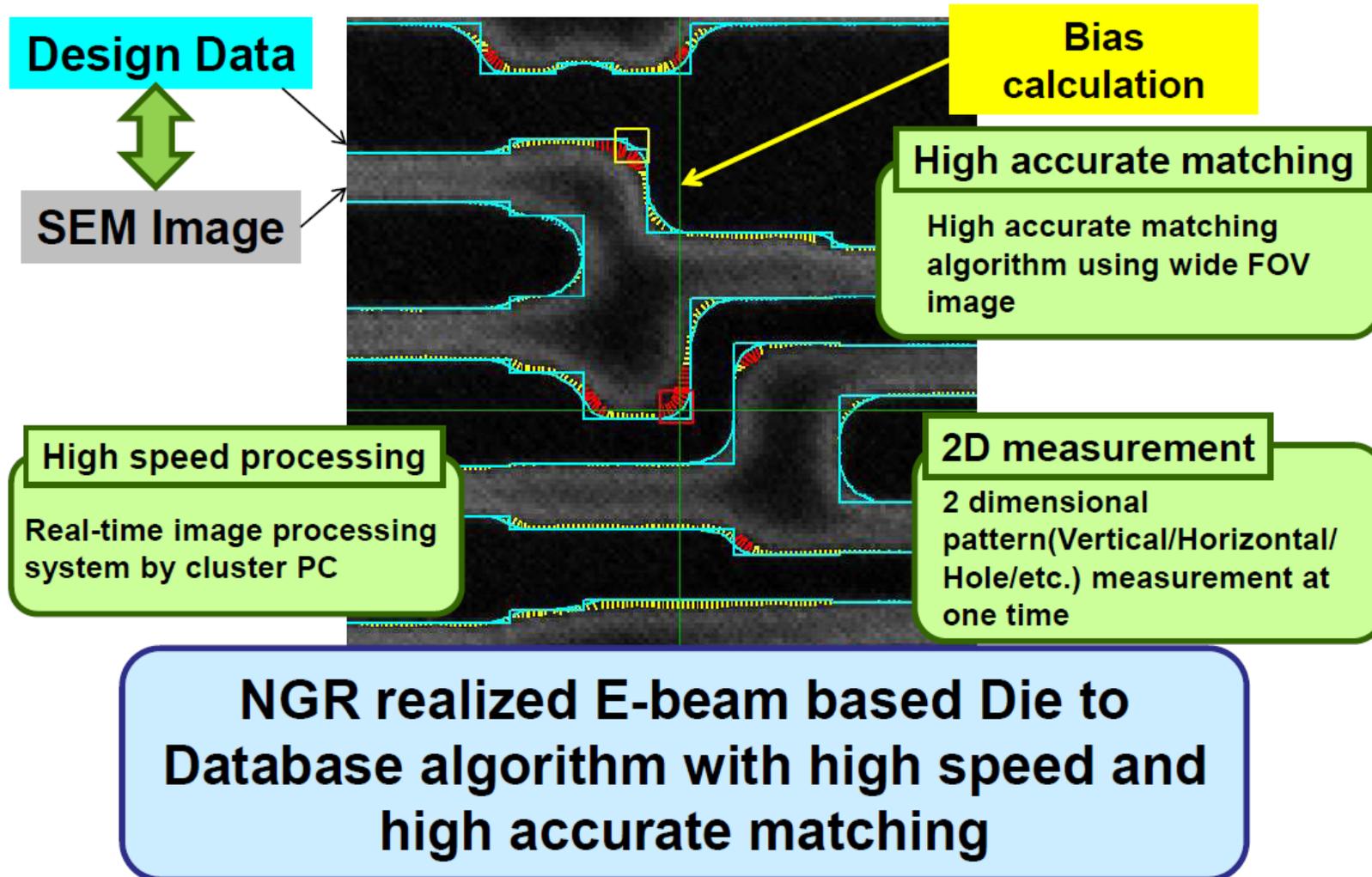
背景パターンの感知面積をオン・ザ・フライで計算することで、ランダム欠陥のキラー率を見積もる

- 一 設計情報(背景感知面積)からの欠陥危険度判定による、欠陥サンプリング効率化



# SEM ImageとDataBaseとの比較

## Die to Database Method



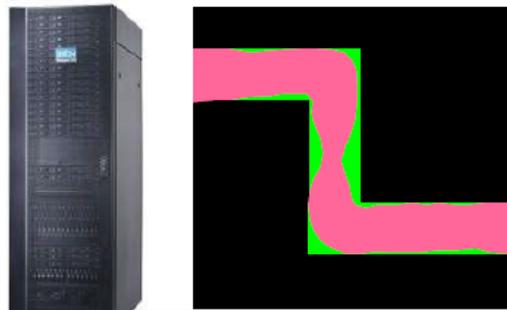
# Hotspot検出と検出座標の監視

## Hotspot Monitoring



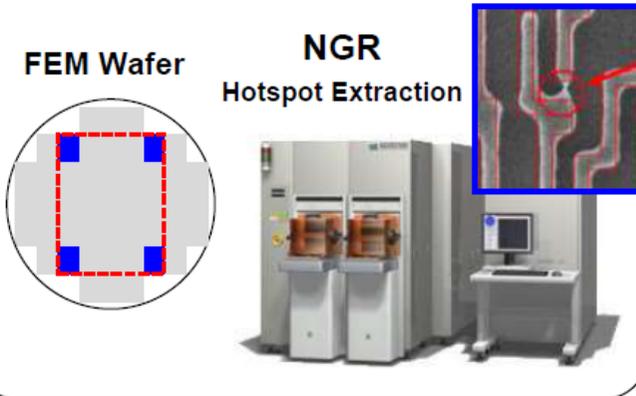
### R&D Phase

Hotspot prediction by EDA Simulator



Hotspot発生しやすい座標の検出

Hotspot extraction by NGR



Hotspot Coordinates



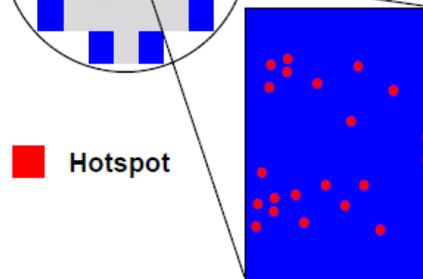
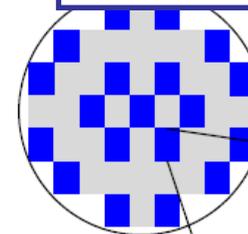
### Production Phase

NGR

Hotspot Monitoring



Hotspotのモニタリング



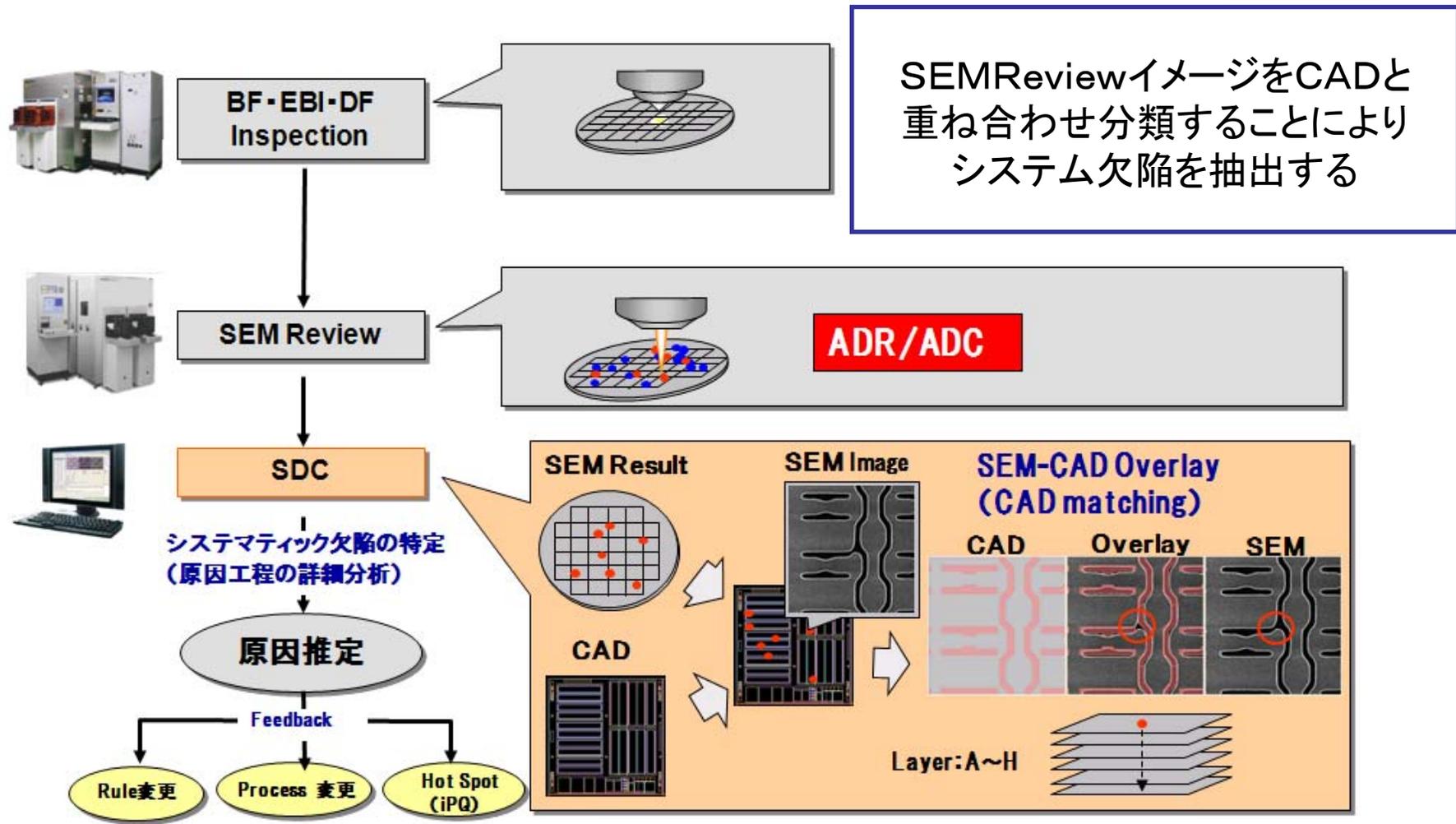
CD based Inspection

Hotspot

ADC (Automatic Defect Classification) 17

# Hitachi SDC(システム欠陥分類)

## SDC (Systematic Defect Classification)



# Hitachi iPQ(プロセス監視機能)

## iPQ (Inspection & Process Qualifier)のご紹介



### iPQの適用事例

iPQにより得られたウェハ面内シグネチャから原因プロセスが推定できた例

	IPM	PBI	PFA
DOI	パターンエッジ荒れ (Alエッチ後)	Cuポイド (Cu CMP後)	レジスト倒れ
検査画像			
DOI分布			
推定原因	Al etching時のウェハ温度不均一 (サセプタの温度不均一による)	Seed Cuデポ時の温度不均一 (ペDESTAL温度不均一)	ウェハ外周部のデフォーカス

**IPM**  
(Image base Process Monitor)

**PBI**  
(Pixel base Inspection)

**PFA**  
(Pattern Feature Analysis)

# システムティック欠陥検出・管理のしくみ



開発・障害調査

量産・管理

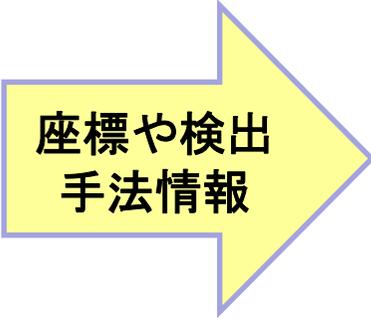
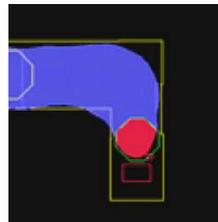


欠陥検出

- DB (CAD)との比較
- 設計情報の利用
  - Hot Spot
  - 回路Type

シミュレーション、FA等による

Hot Spot検出



座標情報



NGR System

RS6000 SDC System



欠陥検出

- DB (CAD)との比較
- Golden Imageとの比較
- 分類(画像解析)
  - 特徴量抽出
  - 設計情報による分類
    - 回路Type
    - Layer(重ね合わせ)

システムティック欠陥検出・管理の手法は多様化しており、それらのレビューが今後必要

- 検査装置使用(今回ヒアリング)
- TEGや製品の電気測定利用
- 装置データ利用(FDC)等々

## ITRS/STRJのWG11(YE)のトレンド

- ・微細化にともない、ウェハ保管環境からの汚染の影響が顕在化し、知見が蓄積されつつある。
- ・プロセスポイントでの汚染濃度の実態の把握、管理値の設定が求められている。
- ・ベベル、エッジの管理の重要性が高まっている。
- ・欠陥および汚染検出の課題は山積だが、システムティック欠陥抽出など、検出感度ではない改善の方向性を出している。

# 用語集

- YMDB : Yield Model & Defect Budget 歩留りモデルと装置許容欠陥数  
DDC : Defect Detection & Characterization 欠陥検出と特徴付け  
CIA: Characterization, Inspection & Analysis 検査、分析、特徴付け  
WECC: Wafer Environmental Contamination Control ウェーハ環境汚染制御  
YL : Yield Learning 歩留り習熟  
FDC : Fault Detection and Classification  
VM : Virtual Metrology  
CR : Clean Room クリーンルーム  
AMC : Airborne Molecular Contamination 大気分子汚染  
HEPA Filter :High Efficiency Particulate Air Filter ヘパフィルター  
CF : Chemical Filter ケミカルフィルター  
UPW : Ultra Pure Water 超純水  
UF : Ultra Filter 限外ろ過フィルター  
IEF: Metal Ion Exchange Filter 金属イオン除去フィルター  
TOC : Total Organic Carbon/Total Oxidizable Carbon 全有機体炭素  
WET Station: ウェハ洗浄装置  
POS : Point of Supply 供給ポイント  
POD : Point of Delivery 受渡ポイント  
POC : Point of Connection 接続ポイント  
POE : Point of Entry 入口ポイント  
POU : Point of Use 使用ポイント  
POP : Point of Process プロセスポイント